

**This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- **BLACK BORDERS**
- **TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- **FADED TEXT**
- **ILLEGIBLE TEXT**
- **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- **COLORED PHOTOS**
- **BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS**
- **GRAY SCALE DOCUMENTS**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Herrn PA S. Schürmer

VDI-Tafelung

EINGEGANGEN
13. MAI 2000
DIP.-ING. S. SCHÜRMER
PATENTABTEIL

11./12. Mai 2000

Hamburg

Gruß
Sckunouy

Strukturschaumanwendung in der Rohkarosserie -
Verstärkung des seitlichen Dachrahmens im OPEL ASTRA
Application of Structural Foam in the Body in White - Reinforcement Roof
Rail Side of the OPEL ASTRA

Dipl.-Ing. M. Klein, Adam Opel AG, Rüsselsheim

Zusammenfassung

Im Rahmen der Entwicklung der passiven Sicherheit, insbesondere bei der Optimierung der Seitenaufprallsicherheit des Opel Astras, ergab sich die Notwendigkeit, den oberen B-Säulenknuten zu versteifen.

Um die hochgestellten internen Sicherheitsziele erreichen zu können, mussten die Verformungen und Eindringgeschwindigkeiten der B-Säule deutlich reduziert werden.

Am Beispiel der seitlichen Dachrahmenverstärkung des Opel Astras wird gezeigt, wie durch den Einsatz einer Strukturschaumverstärkung hohe Festigkeitsergebnisse bei nur geringem Gewichtseinsatz erzielt werden.

Die Leistungsfähigkeit und Gewichtseffizienz der Strukturschaumverstärkung wird anhand von Simulations- und Versuchsergebnissen im Vergleich zu konventionellen Stahlblechkonstruktionen aufgezeigt.

Darüber hinaus werden Probleme und Lösungen beschrieben, die in der Phase der Umsetzung in die Großserienfertigung zu bewältigen waren.

Summary

In order to achieve the aggressive internal passive safety targets, especially in the optimization of the Opel Astra side impact behavior, it was necessary to stiffen the upper B-Pillar joint.

Using the reinforcement roof rail side of the Opel Astra as an example, it will be shown how, through the use of structural foam reinforcements, high stiffness gains are achieved with minimal mass increases.

The performance and mass efficiency of structural foam reinforcements in comparison with conventional steel sheet metal designs will be presented using simulation and development test results.

In addition, the solutions to problems which arose during the implementation phase of a large vehicle production will be described.

1. Einleitung

Ökologie und Leistungsfähigkeit gehören heute mehr als jemals zuvor zu den herausragenden Aufgaben und Zielen bei der Entwicklung zukünftiger Fahrzeuge. Steigende Anforderungen an die passive Sicherheit der Kraftfahrzeuge und damit an die Karosseriestrukturen bei gleichzeitig zunehmendem Druck, die Fahrzeuggewichte weiter zu reduzieren, verdeutlichen den naturgemäßen Zielkonflikt, in dem sich der Entwickler permanent befindet.

Während der Entwicklung der passiven Sicherheit des Opel Astras wurde daher ein besonderer Schwerpunkt auf den leistungs- und gewichtseffizienten Leichtbau in der Karosserie gelegt.

Am Beispiel der Optimierung des Seitenaufprallverhaltens des Astras werden nachfolgend die wesentlichen Schritte vom Grundkonzept bis hin zur Serienlösung aufgezeigt.

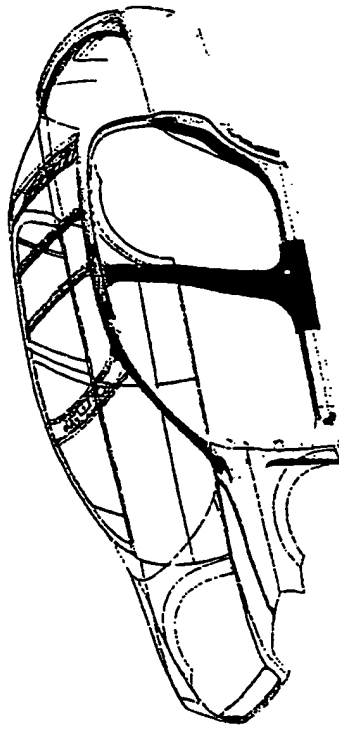


Abb. 1: Opel Astra Struktur B-Säule / Dach seitlich
Fig. 1: Opel Astra structure B-Pillar / roof side

2. Strukturauslegung B-Säule und Dachrahmen

Bei der Auslegung und Optimierung der Struktur für das Seitenaufprallverhalten des Opel Astras wurde der Schwerpunkt der Entwicklung auf die Karosserievariante ohne Schiebedach gelegt. Diese stellt bei Fahrzeugen mit sehr steifer, nicht knickender B-Säule den strukturell kritischeren Fall dar. Vergleichsstudien zeigen Vorteile in den Deformationen und Eindringgeschwindigkeiten durch die versteifende Wirkung der Schiebedachstruktur im oberen Stützträger der B-Säule.

Eindringwerte B-Säule

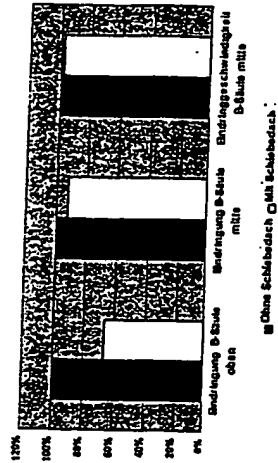


Abb. 2: Vgl. Deformationen und Eindringgeschwindigkeiten an der B-Säule mit/ohne Schiebedach

Fig. 2: Comparison of B-Pillar deformations and velocities with / without sun roof

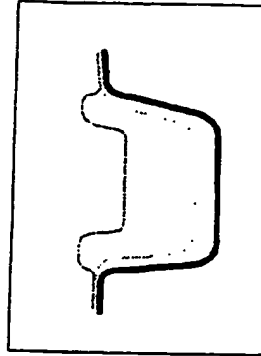


Abb. 3: H-Schnitt B-Säule
Fig. 3: H-Section B-Pillar

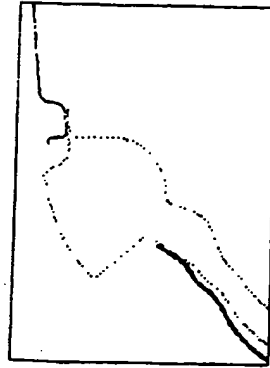


Abb. 4: L-Schnitt Dachrahmen
Fig. 4: L-Section roof frame side

Neben der Optimierung der äußeren Geometrie wurde bei der Konzeptionierung der Säule die vertikal verlaufende Verstärkung auf die Außenseite des B-Säulenprofils gelegt. Hierdurch konnte das Flächenträgheitsmoment in der X-Achse im kritischen Bereich um durchschnittlich 7,2% vergrößert werden.

Zur weiteren Verbesserung der Säulensteifigkeiten wurde die Verstärkung in höchstem Stahl ausgeführt, so dass die Deformationen im kritischen Bereich der oberen Rippen gegenüber einer konventionellen Auslegung mit innenliegender B-Säulenverstärkung um insgesamt um 33% reduziert werden konnten.

Die auf diese Weise sehr biegesteif ausgelegte B-Säule erfordert zwei entsprechend dimensionierte Stützlager, die am jeweils oberen und unteren Ende der Säule die hohen Abstützkräfte aufnehmen können. Nur so kann die Leistungsfähigkeit der hochfesten Konstruktion voll ausgeschöpft werden.

Im unteren Säulenknotten wird dieses Stützlager durch die weit um das Schwellprofil umgreifende außenliegende B-Säulenverstärkung realisiert. Der Materialübergang zu den Außenhaufflächen wird hierbei durch die serienmäßige Schwellerverkleidung abgedeckt.

Im oberen Knoten ist dieser Ansatz jedoch aus stilistischen Gründen nicht möglich. Eine umgreifende B-Säulenverstärkung würde hier mit zwei sichtbaren Fugen über der Außenhauffläche des seitlichen Daches zu einem inakzeptablen Exterior Design führen.

Dennoch kann auf eine strukturelle Kraftübertragung zwischen der außenliegenden B-Säulenverstärkung und der Dachquersstruktur nicht verzichtet werden.

Dies wurde auch in ersten entwicklungsbegleitenden praktischen Seitenaufprallversuchen deutlich. Ohne eine hochfeste quersteife Kraftübertragung im oberen B-Säulenknotten ließen sich die hochgesteckten Zielwerte hinsichtlich der Verformungen und Verletzungsgrade beim Seitenaufprall nicht erreichen. (Siehe hierzu auch Abb. 17)

Es wurden daher alternative Verstärkungsmaßnahmen untersucht, die nachfolgend näher aufgezeigt werden.

3. Problemstellung und Voraussetzungen

Der notwendigen Optimierung des Seitenaufprallverhaltens lag die Aufgabe zugrunde, die Kinematik der am Seitenaufprall beteiligten Karosseriekomponenten so zu beeinflussen, dass die internen Zielsetzungen für die Karosserieverformungen und die Insassenverletzungswerte erreicht werden. Insbesondere die Verformungen im Bereich B-Säule oben / Dach mussten reduziert werden, da diese einen entscheidenden Einfluß auf die Insassenverletzungswerte im Ribbenbereich ausüben.

Abb. 17 zeigt deutlich der Einfall des seitlichen Dachrahmenprofils, der für das Kippen der B-Säule oben nach innen und damit für die zunächst hohen Rippendeformationen verantwortlich war.

Weitere Anforderungen an die konstruktive Lösung für die Aussteifung des oberen B-Säulenknottens waren:

- Keine Beeinträchtigung oder Änderung des Exterior Designs
- Vermeidung des Einknickens des seitlichen Dachrahmenprofils beim Seitenaufprall
- Geringstmögliches Gewicht

- Integration in die vollautomatische Fertigung des Seitenwand-Zusammenbaus
- Eine konstruktive Lösung für Limousine und Caravan

4. Konstruktive Lösungsansätze

Zunächst wurden zur Problemlösung die naheliegenden konventionellen Ansätze untersucht. D.h. neben Geometrieoptimierungen wurden metallische Verstärkungsmaßnahmen wie Bleichdickenerhöhungen, der Einsatz hochfester Stähle oder Zusatzverstärkungen untersucht und simuliert. Grundsätzlich gab es hierbei Alternativen, die sich auf die Aussteifung der in X und der in Y gerichteten Dachstruktur sowie der Kombination verschiedener Konzepte bezogen.

Struktur B-Säule oben Konstruktive Lösungsansätze

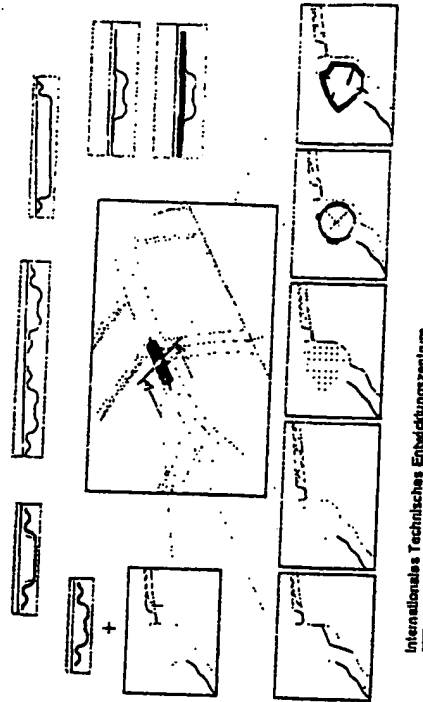


Abb. 5: Konstruktive Lösungsansätze zur Erhöhung der Struktursteifigkeit B-Säule oben
Fig. 5: Alternatives to increase structures stiffness of B-Pillar upper

Es wurde sehr schnell deutlich, dass die Dachstruktur in Y-Richtung, d.h. der mittlere Dachspiegel zwar eine wichtige Basisstützfunktion einnimmt, jedoch die Eindringwerte der oberen B-Säule hierüber nur sehr eingeschränkt gesteuert werden können.

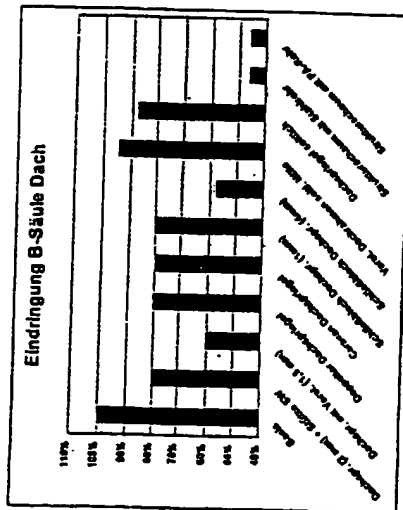


Abb. 6: Verformungen der verschiedenen Lösungsvarianten
Fig. 6: Deformations of alternative solutions

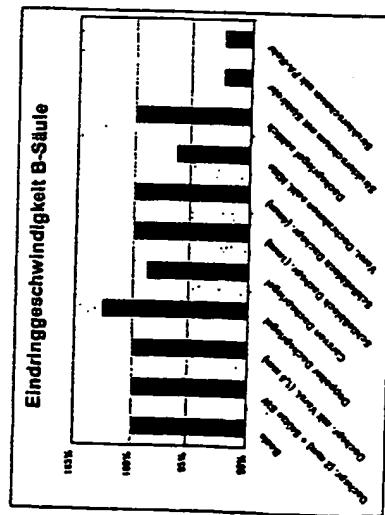


Abb. 7: Eindringgeschwindigkeiten der verschiedenen Lösungsvarianten
Fig. 7: Velocities of alternative solutions

Deutlich effizienter werden die Eindringwerte durch Maßnahmen reduziert, die das Kollabieren des seitlichen Dachrahmenquerschnittes verhindern und damit eine optimale Kraftübertragung von der außenliegenden B-Säulenverstärkung auf den innenliegenden Dachspiegel gewährleisten.

Mit den konventionellen Ansätzen zur Verbesserung der Rahmenstruktur war diese Aufgabe nur mit sehr hohem Gewichtseinsatz zu bewältigen.

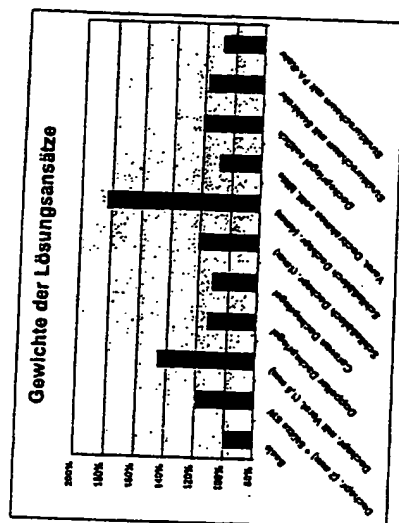


Abb. 8: Vergleich der Gewichte der Lösungsvarianten
Fig. 8: Weight comparison of alternative solutions

5. Die Lösung - Strukturschaumanwendung im Karosserierohrbau

Als sehr gewichtseffiziente Lösung des Problems erwies sich die Anwendung eines Strukturschaumes im seitlichen Dachrahmen, der das vorzeitige Kollabieren des Profils beim Seitenaufprall verhindert.

In den nachfolgenden Iterationsstufen wurde die anfänglich volle Ausschäumung des Profilsquerschnittes über ein mit Strukturschaum ummanteltes Dünblechstützrohr zu einer noch leichteren Variante mit einem flexiblen gestaltbaren PA-Tragrohr entwickelt.

Gegenüber der Dünblechrohrvariante konnte das Gewicht um fast 50% bei gleichzeitig um 26% erhöhter Biegesteifigkeit reduziert werden.

Kraft-Weg Diagramm
Vergleich Trägerrohr Stahlblech zu PA 6.6

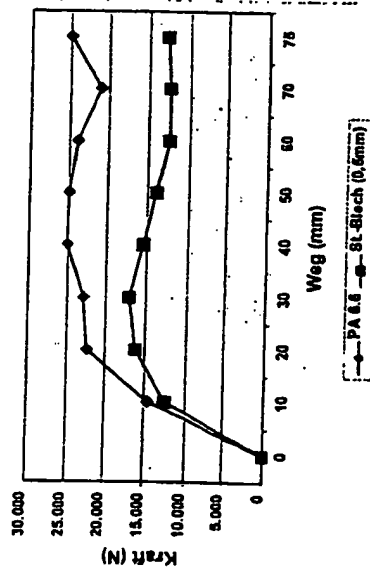


Abb. 8: Kraft-Weg Diagramm Stahl- / Polyamidrohr
Fig. 9: Force travel curves steel- / polyamid tube

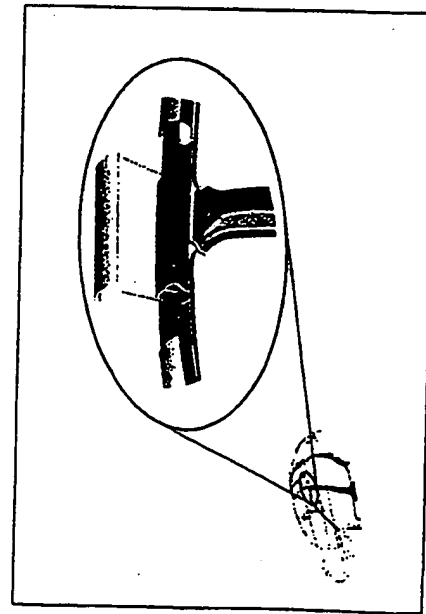


Abb. 10: Strukturschaumverstärkung im Fahrzeug
Fig. 10: Structural foam reinforcement in vehicle

Strukturschaumverstärkung

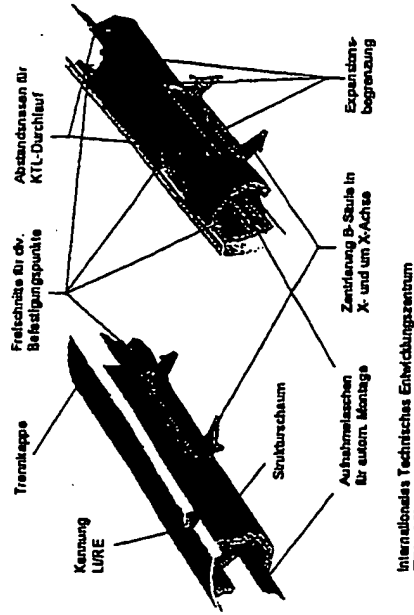


Abb. 11: Strukturschaumverstärkung mit PA-Träger
Fig. 11: Structural foam reinforcement with PA-carrier

Abb. 11 zeigt das in der laufenden Produktion des Asras befindliche Verstärkungsrohr mit seinen konstruktiven Merkmalen. Bei dem Rohr handelt es sich um ein wärmeaktiviertes 1K Epoxid Strukturmateriale, das vorappliziert auf einem Polyamidträger im Seitenwand Schweißzusammenbau in der Rohkarosseriefertigung eingelegt wird. Während des Durchlaufs durch den KTL-Ofen expandiert der Schaum und bildet eine Strukturlebeverbindung zum umgebenden Blech des seitlichen Dachrahmens. Es entsteht eine hochfeste querschnitts Verbundstruktur.

Neben den Stabilitätsanforderungen an das Bauteil mussten eine Reihe weiterer Kriterien für den prozesssicheren Einsatz in der Produktion erfüllt werden:

1. Einsatzfähigkeit im Karosserie Rohbau
2. Prozesssichere Reaktion / Strukturverklebung mit der fertigen Karosserie
3. Verträglichkeit mit dem Temperaturspektrum und den Medien im Lackierprozess
4. Handhabungsfähigkeit für manuelle und automatische Operationen
5. Flexibilität in der Bauteilgestaltung (Nullaufnahmen, Zentrierungen, max. Querschnittsausnutzung)
6. Einsatzfähigkeit in unterschiedlichen Geometrien (Caravan, Limousine)
7. Alterungsbeständigkeit
8. Lagerungsfähigkeit von min. 3 Monaten

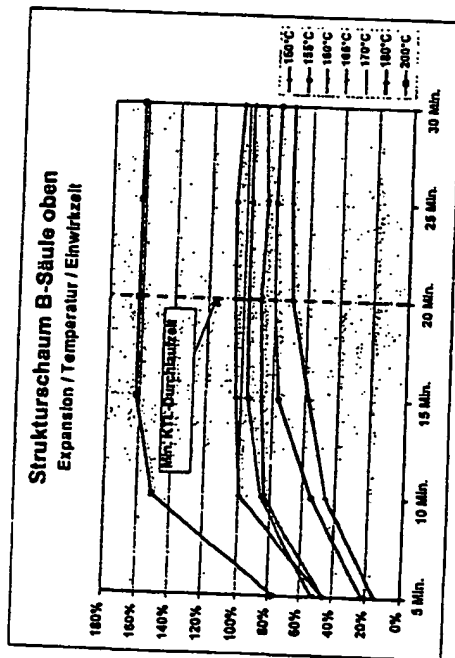


Abb. 12: Expansionsraten in Abhängigkeit von Temperatur und Prozesszeit
Fig. 12: Expansion rates depending on temperature and process time

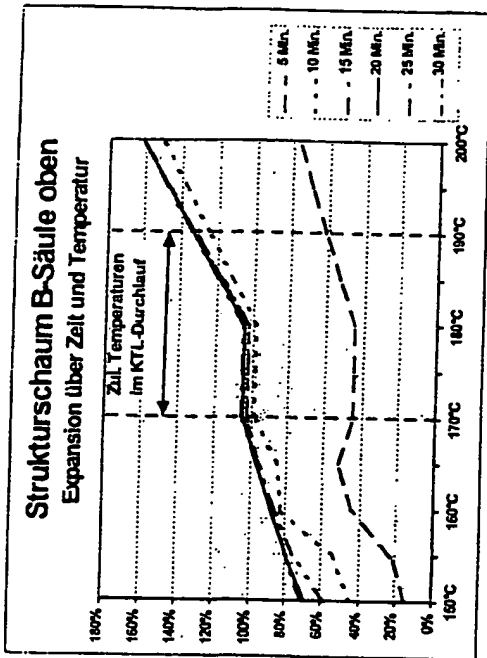


Abb. 13: Expansionsraten in Abhängigkeit von Temperatur und Prozesszeit
Fig. 13: Expansion rates depending on temperature and process time

Die beiden Diagramme Abb. 12 und 13 zeigen die Abhängigkeit des Expansionsverhaltens von der Temperatur und der Einwirkzeit. Grundsätzlich steigt mit zunehmender Temperatur und Einwirkzeit auf das Bauteil der Grad der Expansion des Strukturschaumes an.

Bei konstanter Einwirkzeit steigen die Expansionsraten über das gesamte hier gezeigte Temperaturspektrum kontinuierlich an.

Betrachtet man die Expansionsgrade in Abhängigkeit von der Einwirkzeit, so stellt man fest, dass sich die Werte bei konstanter Temperatur nach Zeiten zwischen 15 und 25 Minuten auf unterschiedlichen temperaturabhängigen Grenzwerten einpendeln. Eine längere Auslagerung führt dann zu keinem weiteren Anstieg.

Damit die volle Aufschäumung des Strukturschaumes und damit die Festigkeitsanforderungen prozesssicher erfüllt werden können, muss gewährleistet sein, dass die Karosserie im KTL-Durchlauf über die Mindestdauer des entsprechenden Temperaturfeldes der Temperatur ausgesetzt wird.

Abb. 14 zeigt hierzu die jeweiligen Mindestzeiten, die notwendig sind, um die maximale Expansion des Strukturschaumes zu gewährleisten.

Das Temperatur-Zeit Fenster des KTL-Durchlaufes der Rohkarosserie liegt in ausreichendem Abstand zu dieser Grenzkurve.

Für das Bauteil im Fahrzeug ergeben sich Expansionsraten zwischen 105% und 134%.

Strukturschaum B-Säule oben

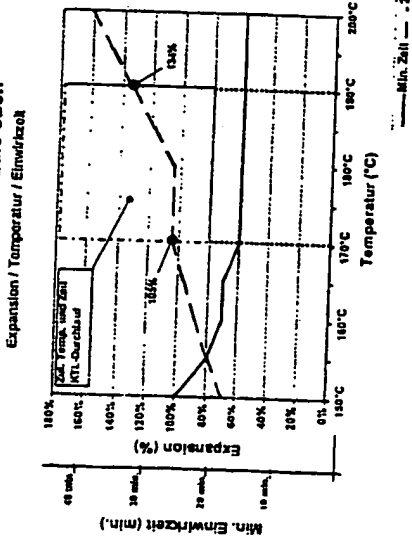


Abb. 14: Abhängigkeit d. min. Prozesszeit und Expansion von der Prozesstemperatur
Fig. 14: Dependence of min. process time and expansion rate from process temperature

Der untere Expansionsgrad des Strukturschaumes von 105 % ermöglicht es, die um bis zu 7mm unterschiedlichen Geometrien der Dachrahmenquerschnitte zwischen Limousine und Caravan durch ein gemeinsames Bauteil zu verstärken. Hierdurch konnten erhebliche Investitionskosten in der automatischen Fertigungsstraße für den Zusammenbau der Seitenwand vermieden werden (s. Abb. 15).

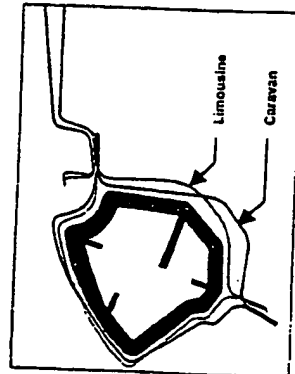


Abb. 15: L-Schnitt durch seitl. Dachrahmen

Fig. 15: L-Section through roof frame side



Abb. 16: Dachrahmen mit Strukturschaumverstärkung
Fig. 16: Roof frame with structural foam

6. Praktische Versuche und Ergebnisse

Bei den entwicklungsbegleitenden praktischen Seienaufpralversuchen zeigte sich eine gute Korrelation zu den vorangegangenen Simulationsberechnungen.

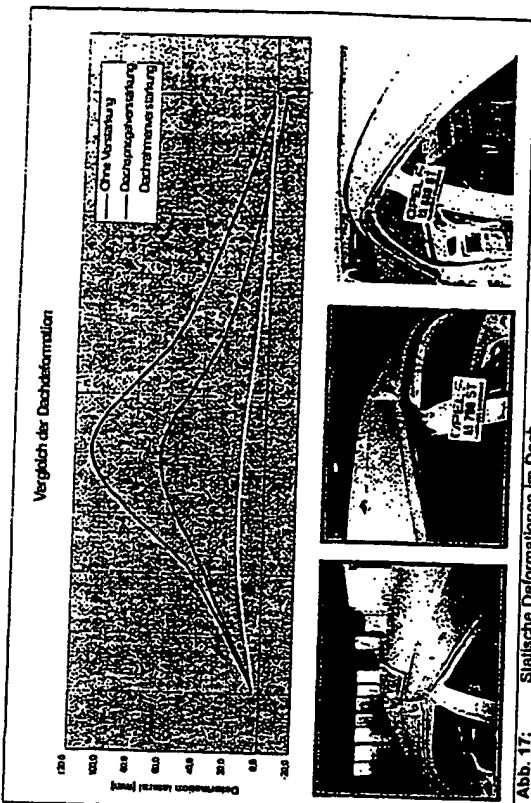


Abb. 17: Statische Deformationen im Dach

Fig. 17: Static roof deformations

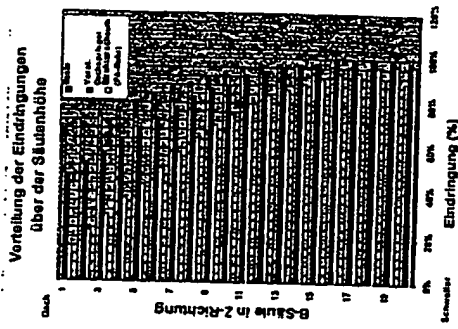


Abb. 18: Statische Deformationen B-Säule

Fig. 18: Static B-Pillar deformations

Abb. 17 und 18 zeigen den Einfluss der Verstärkungsmaßnahmen im Dachbereich auf die statischen Deformationen der B-Säule. Von den Varianten mit konventionellen Blechverstärkungen ist hier die günstigste Variante, d.h. die mit geschlossenem Dachspriegelprofil gezeigt. Es ist zu erkennen, dass die statischen Intrusionen oben um bis zu 40% reduziert werden konnten.

Das mit Abstand beste Ergebnis wird jedoch mit dem Strukturschaumnrohr erzielt. Gegenüber der Ausgangsbasis konnten hier die statischen Deformationen in der oberen B-Säule um mehr als 87% reduziert werden. Die reduzierten Verformungen der B-Säule setzen sich einem Pendel gleich tendenziell abnehmend nach unten fort und erreichen im Bereich der oberen Rippen noch eine Verbesserung von 21%.

Im Bereich des Schwellers sind die Unterschiede nur noch marginal.

Analog zu den statischen Verformungen verhalten sich die Verformungsgeschwindigkeiten und damit die Verletzungsrate. Abb. 19 zeigt die Verbesserungen insbesondere in dem anfangs kritischen Bereich der oberen Rippen. Hier konnten die Eindringungsgeschwindigkeiten um 64% und die Verletzungsrate um 36% reduziert werden.

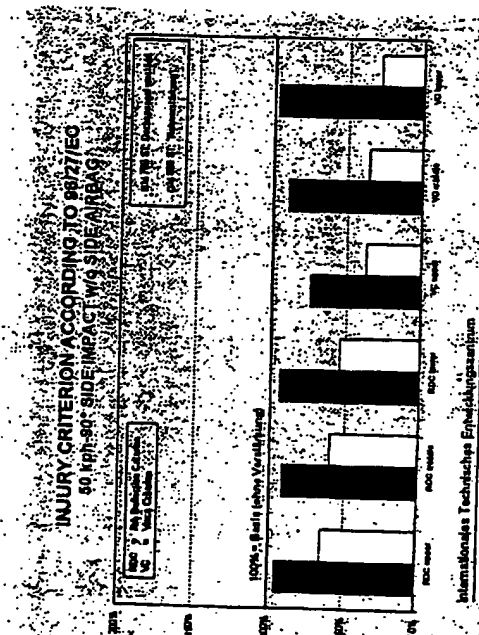


Abb. 19: Verformungsgeschwindigkeiten und Rippenverletzungsrate
Fig. 19: Rib deflection and visco criterion

7. Einsatz in der Produktion

Insbesondere beim Einsatz neuer Konzepte und Materialien in der Großserienfertigung müssen gezielte, vorbereitende und im Anlauf begleitende Maßnahmen zur Sicherung des Produktionsprozesses und der geplanten Stückzahlen getroffen werden.

Üblicherweise werden solche Maßnahmen heute durch entsprechende FMEAs geplant und verfolgt.

Als Besonderheit erwies sich in diesem Zusammenhang der Einsatz des Strukturschaumes in vier unterschiedlichen Produktionswerken.

Der OPEL Astra wird in den Werken

- Eisenach,
 - Antwerpen,
 - Ellesmere Port und
 - Bochum
- produziert.

Naturngemäß sind nicht alle Werke absolut identisch aufgebaut.

Historisch gewachsene Strukturen gepaart mit unterschiedlichen Produktionsvolumen und anderen Randbedingungen sorgen für ein sehr breites Spektrum an Einflussgrößen für die Verarbeitung der Verstärkungsrohre in der Produktion.

Während die Einflüsse auf Produktion und Produkt beim Handling in den unterschiedlichen Werken weitgehend durch den Aufbau neuer Fertigungs- und Transporteinrichtungen ausgeschaltet werden konnten, blieben die unterschiedlichen Lackieranlagen und Öfen und damit unterschiedliche Temperaturbedingungen für das neue Bauteil erhalten.

Was an Unterschieden in den bisherigen Prozessen vernachlässigt werden konnte, kann bei der Verarbeitung eines thermisch aktivierten Strukturschaumes zu Problemen führen.

7.1 Expansion des Strukturschaumes

Wie bereits in den Abb. 12 – 14 gezeigt, expandiert das 1K Epoxid-Strukturmaterial unter Wärmeeinwirkung in Abhängigkeit von Temperatur und Zeit.

Die Expansionsraten bewegen sich unter den gegebenen KTL-Prozessbedingungen zwischen 105% und 134%.

Diese relativ hohe Bandbreite der Expansionsraten erfordert konstruktive Vorkehrungen, die ein Übersäumen in freizuhaltende Bereiche verhindern.

Bei dem Verstärkungsrohr wurde dies durch entsprechende Ausklinkungen und Löcher mit Randabstellung am Trägerröhr realisiert. Hierdurch wird vermieden, daß der expandierende Schaum in Bereiche vordringt, die funktionsbedingt freigehalten werden müssen (z.B. Löcher für Befestigungsschrauben).

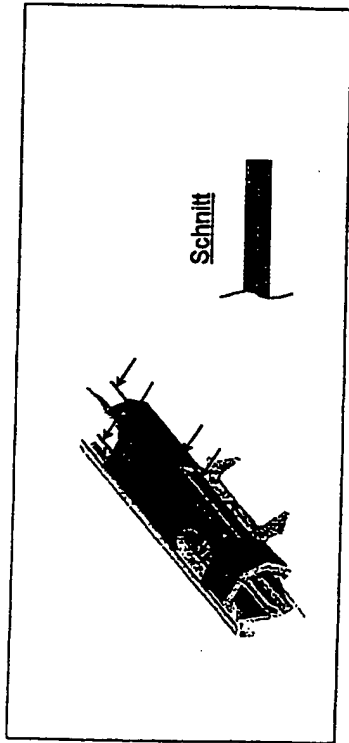


Abb. 20: Konstr. Vorkehrungen gegen lokales Überschaümen

Verst. Rohr mit Auskinkungen und Randabsattelung)
Design provisions to control expansion

7.2 Oberflächenqualität der Aussenhaut

Ein anderes Problem, das nach den ersten Lackierversuchen in den Produktionsanlagen gelöst werden musste, war die Sicherstellung der Oberflächenqualität der Außenhaut im Bereich des Strukturschaumrohres.

Nach dem Lackieren der Versuchsfahrzeuge bildeten sich jeweils am vorderen und am hinteren Ende des Verstärkungsrohres im sichtbaren Bereich des seitlichen Daches Markierungen aus.



Abb. 21: Einfallstellen in der

Seitenwand aussen
Sink marks in the
side panel outer

Was in den ersten Interpretationen als Folge zu starker Expansion des Strukturschaumes angesehen werden konnte, stellte sich nach genauerer Analyse als Reaktion der Seitenwand außen auf das unterschiedliche thermische Verhalten der beteiligten Werkstoffe PA, Epoxidstrukturschaum und Stahlblech heraus.

Es kommt hierbei zu einer Überlagerung von Kräften aufgrund von Materialschrwindungen und unterschiedlichen Ausdehnungsraten.

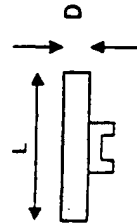
7.2.1 Thermische Reaktionen

a) Temperaturausdehnungen

Während des KTL-Durchlaufes erwärmen sich das PA-Rohr, der Strukturschaum und das umgebende Stahlblech auf bis zu 190°C.

Da der Strukturschaum während des Aufschäumens relativ weich ist und nur wenig Widerstand bietet, dehnt sich das PA-Rohr gegenüber dem Stahlblech entsprechend seines höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten mehr aus (siehe Abb. 23).

Für die Wärmeausdehnung gilt:



$$\Delta L_{\text{th}} = L_1 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

(1)

 $\Delta L_{\text{th}} = \text{Längendifferenz (Wärmedehnung)}$
 $L_1 = \text{Ausgangslänge}$
 $\alpha = \text{Wärmeausdehnungskoeffizient}$
 $\Delta T = \text{Temperaturdifferenz}$

Für den Rohrdurchmesser gilt analog:

$$\begin{aligned} D &= U \cdot \pi^{-1} \\ \Delta D_{wo} &= \Delta U_{wo} \cdot \pi^{-1} \\ &= U_1 \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot \pi^{-1} \end{aligned}$$

bzw.

(2)

$$\begin{aligned} D &= \text{Rohrdurchmesser} \\ \Delta D_{wo} &= \text{Durchmesserdifferenz (Wärmedehnung)} \\ U &= \text{Rohrumfang} \\ \Delta U_{wo} &= \text{Umlängsdifferenz (Wärmedehnung)} \\ U_1 &= \text{Ausgangsumfang} \end{aligned}$$

Wärmedehnung PA 6.6 / Stahlblech

	Stahlblech	PA 6.6	Stahlblech	PA 6.6
Stärke (mm)	250	157	12	170
PA 6.6	250	157	40	170
Mittelpunkt Stahlblech	157	157	170	170

¹⁾ Mittelwert längs und quer zur Faser

Abb. 23: Wärmedehnung PA-Rohr / Stahlblech
Fig. 23: Temperature elongation PA-tube vs. sheet metal

Das gegenüber dem Stahlblech um 0,24 mm bzw 1,19 mm mehr ausge dehnte Verstärkungsrohr wird auf dem hohen Temperaturniveau im KTL-Trocknen mit den umgebenden Seitenwand außen und innen verklebt. Während der Abkühlung auf Raumtemperatur wird das PA-Rohr durch die Verklebung mit der umgebenden Blechstruktur an der Rückbildung der Wärmedehnung und an der Materialschrumpfung gehindert. Die Rückstellkräfte des PA-Rohres und des Strukturschaumes übertragen sich auf die Außenhaut. Während die Wellenänderungen direkt senkrecht auf die Außenhautfläche wirken, verursachen die Längenänderungen eine Art "Bimetall-Effekt". Beide Effekte führen zu sichtbaren Markierungen auf der Außenhaut.

Abb. 24 zeigt hierzu die Materialaushärtezeiten über der Prozesstemperatur.

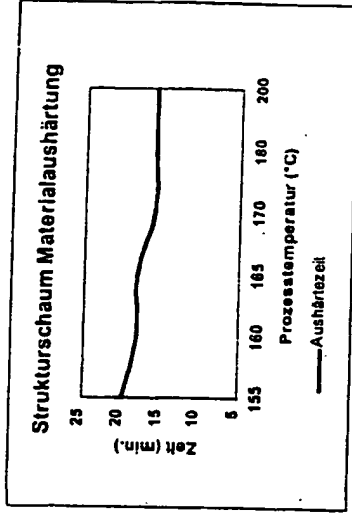


Abb. 24: Strukturschaumaushärtung über der Prozesstemperatur
Fig. 24: Structural foam curing depending on process temperature

b) Schrumpfung (Strukturschaum)

Wie bei jedem anderen Kunststoff trennen auch bei den Strukturschäumen im Verlauf der Abkühlung nach dem Aufschäumen Materialschrumpfungen und damit geometrische Veränderungen auf. Während bei Kunststoffspritzteilen diese Schrumpfungen durch Prozess- und Werkstoffparameter wie Temperatur, Nachdruck und Füllstoffe beeinflussbar sind, bleiben bei dem Strukturschaum nur die Füllstoffe als Stützgröße.

Messungen des Schrumpfungsverhaltens am fertigen Bauteil nach dem KTL-Durchlauf erwiesen sich als äußerst schwierig, da hierzu eine Trennung der Blechaußenhautfläche vom aufgeschäumten Verstärkungsrohr notwendig gewesen wäre. Das Messergebnis wäre damit unbrauchbar gewesen. Zur Orientierung wurde daher die Schrumpfung bei freier Aufschäumung herangezogen.

Diese liegt bei ca. 0,5%, so dass sich absolute Veränderungen von

$$\begin{aligned} \Delta L_{ss} &= 1,25 \text{ mm} \quad \text{und} \\ \Delta D_{ss} &= 0,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta L_{ss} &= \text{Längendifferenz (Schrumpfung Strukturschaum)} \\ \Delta D_{ss} &= \text{Durchmesserdifferenz (Schrumpfung Strukturschaum)} \end{aligned}$$

ergeben.

b) Nachschwindung (PA-Trägerrohr)

Kunststoffbauteile können unter bestimmten Temperaturbedingungen auch nach dem eigenen Herstellungsprozess geometrische Änderungen durch Schwindung des Materials erfahren. Dieses Nachschwinden ist allgemein bekannt und kann durch Werkzeugauslegung und Prozessparameter gesteuert werden.

Messungen des PA-Trägerrohres vor und nach dem KTL-Durchlauf ergaben folgendes Ergebnis:

$$\Delta L_{SPA} = 0,6 \text{ mm} \quad \text{und} \\ \Delta D_{SPA} = 0,1 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{SPA} = \text{Längendifferenz (Schwindung PA-Rohr)} \\ \Delta D_{SPA} = \text{Durchmesserdifferenz (Schwindung PA-Rohr)}$$

7.2.2 Abhilfemaßnahmen

Grundsätzlich lassen sich die Materialschwindungen und Wärmeausdehnungskoeffizienten über die Füllstoffe in den Werkstoffen in gewissen Grenzen steuern. Die Materialschwindungen können darüber hinaus über die Prozessparameter bei der Herstellung (z.B. Werkzeugtemperatur, Zykluszeit, Nachdruck) oder durch thermische Nachbehandlungen der Bauteile (Tempern) beeinflusst werden.

Gemessen an den im vorangegangenen Absatz gezeigten thermischen Bewegungen der betroffenen Bauteile müssen in diesem Fall Relativbewegungen zwischen Kunststoff und Stahl von bis zu 3 mm in Längs- bzw. 0,6 mm in Querrichtung kompensiert werden, um prozesssicher alle Oberflächenfehler auf der sichtbaren Außenhaut auszuschießen. Aufgrund der bereits relativ hohen Füllstoffanteile im PA-Rohr (30% Glasfaser) und im Strukturschaum (25 % Glaskugeln) sind Reduzierungen der Materialschwindung und der Wärmedehnung in dieser Größenordnung nur sehr schwer realisierbar.

Die entscheidende Verbesserung wurde schließlich durch eine lokale Trennung des Strukturschaumes von der Außenhautfläche erreicht. Durch Aufbringen einer wärmebeständigen Trennkappe auf der Außenhautseite des Verstärkungsrohres wird die Verklebung des Schaumes mit der Außenhautfläche der Karosserie vermieden. Die thermischen Reaktionskräfte der Kunststoffkomponenten werden in diesem Bereich somit nicht mehr auf die Außenhaut übertragen. Es entstehen keine Oberflächenfehler mehr.

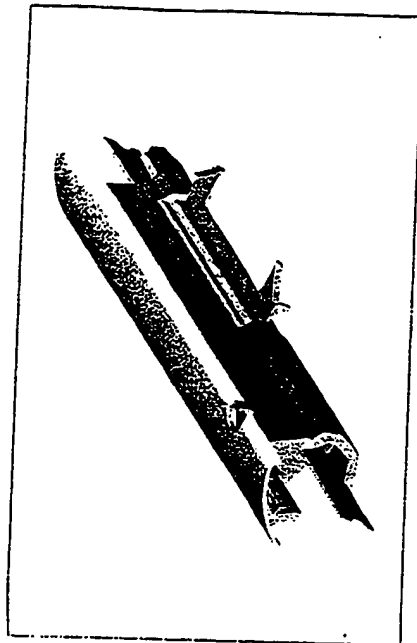
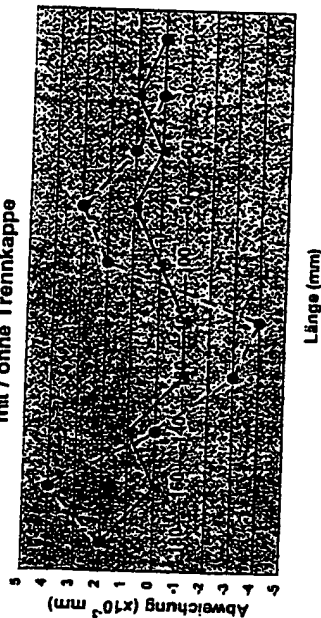


Abb. 25:
Fig. 25:
Verstärkungsrohr mit Trennkappe
Reinforcement tube with separation cap

Oberflächenmessung
mit / ohne Trennkappe

—○— ohne Trennkappe —▲— mit Trennkappe

Abb. 26:
Fig. 26:
Oberflächenwelligkeit mit / ohne Trennkappe
Waves in upper surface with / without separation cap

Abb. 26 zeigt Oberflächenmessungen im Bereich der Einfallstellen mit und ohne Trennkappe. Die Oberflächenfehler werden mit der Trennkappe zuverlässig eliminiert. Verbleibende Unregelmäßigkeit der Messwerte sind in der Mess- und Fertigungstoleranz begründet und liegen außerhalb des für das menschliche Auge wahrnehmbaren Bereiches.

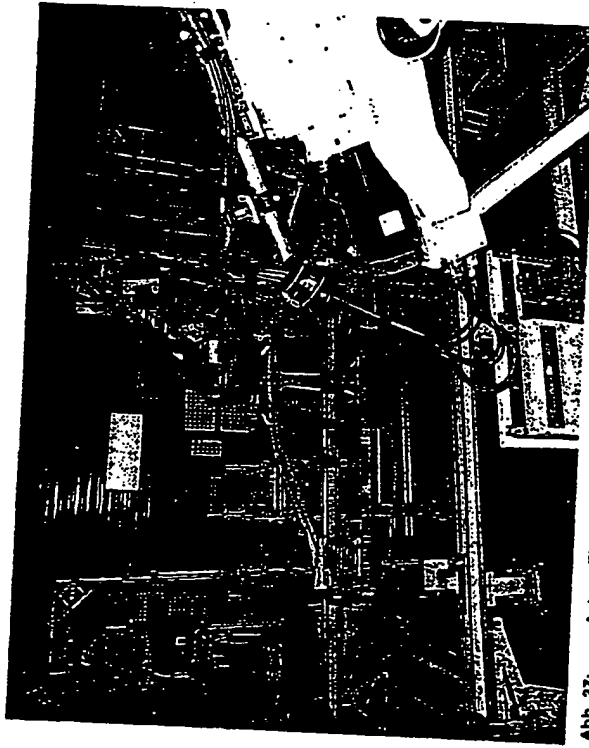


Abb. 27:

Fig. 27:

Autom. Einlegestation im Schweißzusammenbau Seitenwand komplett
Automatic assembly station side panel complete

Literatur

- /1/ Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau,
Band 1, Springer Verlag 1997

Auslegung einer Crashboxgeometrie unter besonderer Berücksichtigung der Funktionsfähigkeit beim Schrägaufprall mit begrenztem Impulswinkel

Construction of a Crashbox, Taking Particular Account of Performance, where Impact is Not Head-On, but at an Angle

Dipl.-Ing. [BA] L. Jüngling, M. J. Beck, Dipl.-Ing. [FH] R. Schüßler,
VAGON Automotive GmbH, Waldoschall

Zusammenfassung

Im heutigen Automobilbau spielt die Auslegung der Fahrzeugkarosserie in Bezug auf definiertes Deformationsverhalten und Reparaturfreundlichkeit eine immer größere Rolle. Betrachtet werden die auftretenden Schäden, insbesondere an Fahrzeugfront und -heck, die im sogenannten Crashreparaturtest ermittelt werden. Diese Erkenntnisse sind dann in hohem Maße für die Einstufung der Typklassen der Kraftfahrzeughalbflicht, sowie der Fahrzeugversicherungen verantwortlich.

Im Frontbereich spielt dabei das „Stoßlänger-Querträger-Crashbox“-System die tragende Rolle.

In Anlehnung an das reale Verkehrsgeschehen wird im Besonderen die Crashbox nicht nur unter der 0°-Crashstielkonfiguration betrachtet, sondern bis zu einem Impulswinkel von 15°.

Unter erhöhten Aufprallwinkeln muß eine Bewertung der Kraft- bzw. Spannungsverteilung zwischen Querträger und Crashbox durchgeführt werden, da die Motorlängsträger ab einem bestimmten Kraftniveau einknicken, was vermieden werden muß, um kostenintensive Reparaturen zu vermeiden.

Die neuartige Crashboxgeometrie (Defoelement) zeigt, wie durch eine gezielte Formoptimierung ein universelles, einstufiges Bauteil zur Energieabsorption erhöhte Anforderungen bezüglich des Schrägaufpralls erfüllen kann.

Know-how vom Erstausrüster

GURIT-ESSEX



**In aller Bescheidenheit:
Acht von zehn Automobilen
fahren mit Gurit-Essex**

Denn in fast jedem Fahrzeug versteckt sich eine der innovativen Systemlösungen von Gurit-Essex. Als Marktführer auf den Gebieten Kleben, Dämmen und Dichten sind wir seit Jahrzehnten Partner der Automobilhersteller, der Zulieferindustrie, der Fachwerkstätten und des Handels.

Gemeinsam stehen Gurit-Essex und Essex Specialty Products Inc. für weltweite Präsenz und Kompetenz.

**KLEBEN
DÄMMEN**

Gurit-Essex (Deutschland) GmbH
Am Güterbahnhof · D-35683 Dillenburg
Tel: 02771/8714-0 Fax: 02771/8714-70

Firmenporträt

Gurit-Essex (Deutschland) GmbH
Am Güterbahnhof
D - 35683 Dillenburg
Tel.: 0 27 71/87 14 - 0
Fax: 0 27 71/87 14 - 70

Firmenprofil/Liefer-/Leistungsverzeichnis:
Gurit-Essex: Pionier und Trendsetter bei Klebstoffen seit über 25 Jahren

Der Marktführer im Profil

- Die Gurit-Essex AG wurde 1970 als selbstständiges Joint-Venture-Unternehmen gegründet. Je 50% Beteiligung hatten die international tätige Gurit Heberlein Gruppe sowie die seit 1989 zur Dow Chemical gehörende Essex Specialty Products Inc. (USA). Der Hauptsitz der Firma mit 400 Beschäftigten liegt in Freienbach nahe Zürich (Schweiz).
- In die Gurit-Essex integriert sind zahlreiche spezialisierte Hightech-Betriebe. Heute verfügt die Firma in 5 weiteren Ländern Europas - Deutschland, England, Frankreich, Italien und Spanien - über eigene Entwicklungs- und Produktionsstätten beziehungsweise Vertriebsorganisationen. Die Essex Specialty Products betreut die Märkte Nord- und Südamerika, Asien und Australien.
- Als Anbieter hochwertiger Werkstoffe und Systemlösungen für die Direktverglasung im Automobilbau liefern Gurit-Essex und Essex Specialty Products 70-75% des weltweiten Bedarfs für Erstausrüstung und Reparaturen. In Europa hält Gurit-Essex mit fast 80% Marktanteil die führende Stellung im Bereich der Scheibenverklebung.
- Die Gurit-Essex stellt außerdem vielerlei Produkte für den Rohbau, die Lackiererei, die Endmontage sowie für den Reparatur- und Ersatzteilmarkt her. Unter anderem ist sie nach dem Erwerb von Revco (1992) und Sahn-Chemie (1995) auch zu Europas Marktführer im PVC-Unterbodenschutz geworden.
- Langjährige Kunden der Gurit-Essex in Europa sind praktisch alle bedeutenden Konzerne der Fahrzeugindustrie wie Audi, BMW (Rover), Fiat (Alfa Romeo, Lancia), Ford, Jaguar, Mercedes Benz, Opel, Porsche, PSA (Peugeot)

Application of Structural Foam in the Body in White - Reinforcement Roof Rail Side of the OPEL ASTRA

Dpl. Ing. M. Klein, Adam Opel AG, Rüsselsheim

Summary

In order to achieve the aggressive internal passive safety targets, especially in the optimisation of the Opel Astra side impact behaviour, it was necessary to stiffen the upper B-pillar joint.

Using the reinforcement roof rail side of the Opel Astra as an example, it will be shown how, through the use of structural foam reinforcements, high stiffness gains are achieved with minimum mass increases.

The performance and mass efficiency of structural foam reinforcements in comparison with conventional steel sheet metal designs will be presented using simulation and development test results.

In addition, the solutions to problems, which arose during the implementation phase of a large vehicle production, will be described.

1. Introduction

Ecology and efficiency today belong more than ever to the predominant objectives and goals in the development of future vehicles. The rising requirements in the passive safety of motor vehicles and thus in the body structures at the same time with increasing pressure to reduce vehicle weights further highlight the natural conflict of aims, in which the automotive development engineer is permanently trapped.

During development in passive safety of the Opel Astra, therefore, special emphasis was placed on the performance and lightweight-to-strength efficient construction of the bodysell.

Using the example of optimizing the side impact behaviour of the Astra, the main steps from the basic concept right up to final production are described in the following.

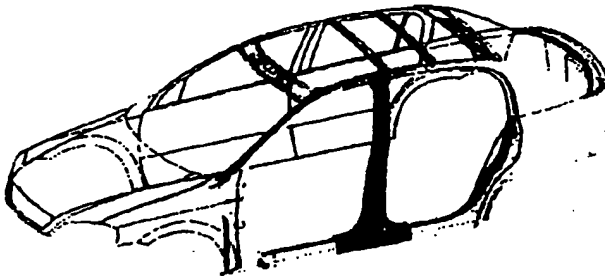


Fig.1: Opel Astra structure B-Pillar/roof side

2. Structural design of the B-pillar and roof frame

In the design and optimization of the structure for side impact behaviour of the Opel Astra, emphasis was placed on the development of the body version without sun roof. This represents the structure-critical case for vehicles with very rigid, non-flexural B-pillars.

Comparative investigations show advantages in deformations and penetration velocities as a result of the reinforcing effect of the sun roof structure in the upper support mounting of the B-pillar.

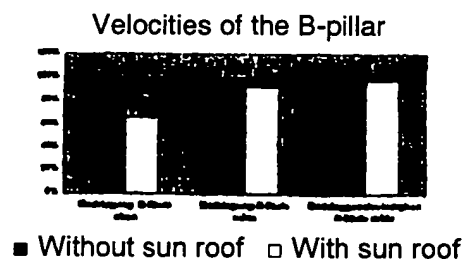


Fig.2: Comparison of B-Pillar deformations and velocities with/without sun roof

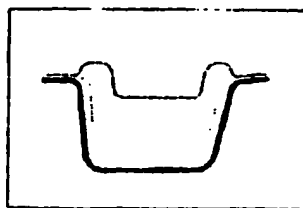


Fig.3: H-Section B-Pillar



Fig.4: L-Section roof frame side

As well as optimizing the outer geometry when designing the pillar, the vertically running reinforcement was laid on the exterior of the B-pillar profile. As a result, the geometrical moment of inertia in the x axis within the critical range could be increased on average by 7.2%.

For further improvement in pillar stiffness, high-strength steel was used for reinforcement so that the deformation within the critical range of the upper ribs

could be reduced in comparison to a conventional design with inner B-pillar reinforcement by a total of 33%.

The B-pillar designed to be very resistant to collapse in this way requires two correspondingly dimensioned support mountings, which in each case can absorb the high support forces at the upper and lower end of the pillar. Only in such a way can the performance of the high-strength design be fully utilized.

In the lower pillar joint, this support mounting is implemented by the external B-pillar reinforcement gripping all around the door-sill. The material transition to the outer skin is covered in this case by the standard door-sill panel.

However, in the upper joint this solution is not possible for stylistic reasons. B-pillar reinforcement gripping around would lead here to unacceptable exterior design because of two visible seams over the outer skin of the side roof.

Nevertheless, structural transmission of energy between the external B-pillar reinforcement and the side roof structure is essential.

This also became clear in the initial practical side crash tests which accompanied the develop stages. Without high-strength lateral transmission of energy in the upper B-pillar joint the highly-demanding targets for deformation and minimum injury in the event of a side crash could not be reached (see also Fig. 17 in this connection)

Therefore, alternative reinforcement concepts have been examined, which are described in detail below.

3. Problem definition and conditions

The basic aim of the necessary optimization of side impact behaviour was to influence the kinetics of the bodysheer components involved in the side crash in order to achieve the internal objectives for car-body deformation and passenger-injury levels.

In particular deformation in the B-pillar upper/roof area had to be reduced, since this has a crucial influence on passenger injury levels within the rib area.

Fig. 17 clearly shows the collapse of the side roof frame, which was responsible for the B-pillar upper turning inwards and thus for the initially high rib deformation.

Further requirements of the design for reinforcing the upper B-pillar joint were:

- No impairment or change of the exterior design
- Avoidance of inward flexing of the side roof frame in the event of a side crash
- Minimum weight
- Integration into fully automatic production of the side panel assembly
- A design solution for saloon and caravan

4. Design solutions

Firstly, to solve the problems, the obvious conventional methods were examined. That is to say, apart from geometric optimization metal reinforcement concepts such as increase in metal thickness, use of high-strength steel or auxiliary reinforcement were examined and simulated.

In principle, there were various alternatives, which related to the reinforcement of the roof structure oriented in the x axis and the roof structure oriented in the y axis as well as a combination of the different concepts.

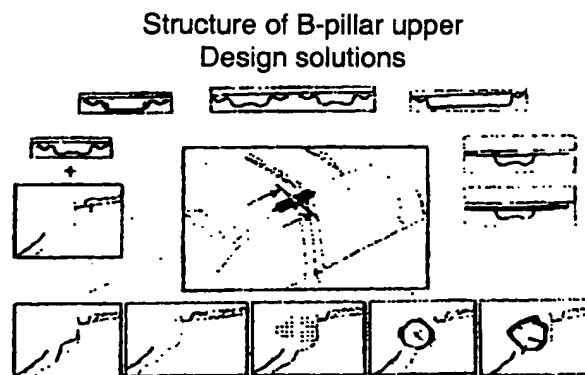


Fig.5: Alternatives to increase structures stiffness of B-Pillar upper

It very quickly became clear that the roof structure in the y direction, that is to say although the central roof arch assumes an important basic support function, velocities of the upper B-pillar can only be controlled in a very limited way via here.

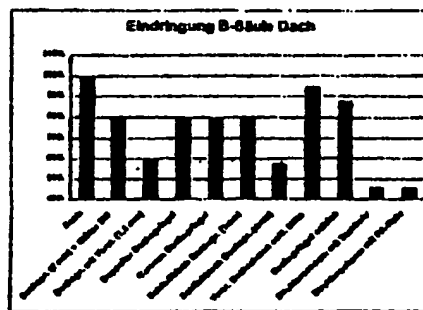


Fig.6: Deformations of alternative solutions

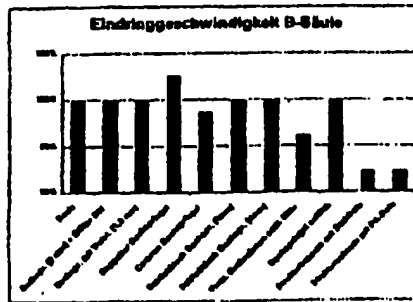


Fig.7: Velocities of alternative solutions

The penetration velocities are reduced considerably more efficiently by methods, which prevent the side roof frame cross section collapsing so that optimum transmission of energy from the external B-pillar reinforcement to the inner roof arch is guaranteed.

With conventional ideas for improving the frame structure, this objective could only be met with a very large weight factor.

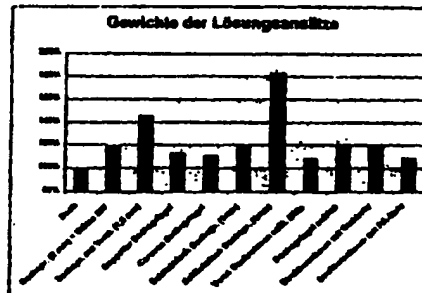


Fig.8: Weight comparisons of alternative solutions

5. The solution – use of structural foam to produce the bodyshell

The use of structural foam in the side roof frame proved to be a very efficient weight-to-strength solution to the problem, as this prevents premature collapse of the profile in the event of a side crash.

In the following iteration stages, the initial full foam expansion of the profile cross section over a thin metal support tube encased with structural foam was developed to an even lighter alternative with a flexible PA support tube.

In comparison to the thin metal tube version it was possible to reduce the weight by nearly 50% at the same time increasing rigidity by 26%.

[Force travel curves
Comparison between metal and PA 6.6 support tube]

Kraft-Weg Diagramm
Vergleich Trägerrohr Stahlblech zu PA 6.6

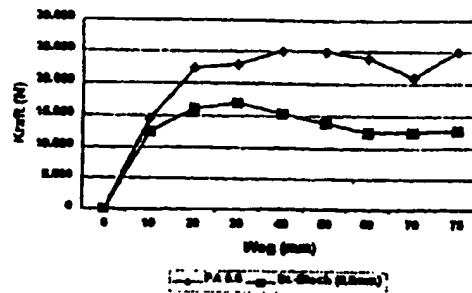


Fig.9: Force travel curves steel-/polyamid tube

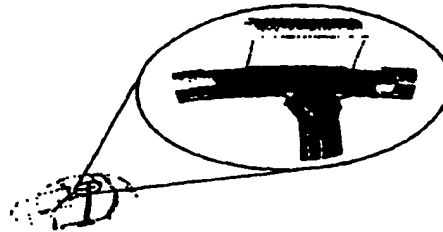


Fig.10: Structural foam reinforcement in vehicle

[Structural foam reinforcement]

Strukturschaumverstärkung

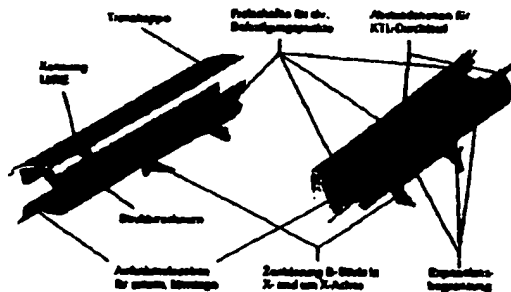


Fig.11: Structural foam reinforcement with Punjabi-carrier

Fig. 11 shows the reinforcement tube in current production of the Astra with its design characteristics.

The tube concerns a heat-activated single pack epoxy structural material, which after being pre-applied on a polyamide carrier is inserted in the side panel of the welded assembly during bodyshell production.

As it travels through the electrophoretic primer oven, the foam expands and forms a structural bond with the surrounding sheet metal of the side roof frame. A high-strength cross-stable composite structure results.

Beside the stability requirements of the component, a further series of criteria for safe use in production had to be met:

- 1 Capability of being used in bodyshell production
- 2 Safe reaction/structural bonding with the finished body
- 3 Compatibility with the high temperatures and materials during the painting process
- 4 Suitability for manual and automatic operations
- 5 Flexibility in component configuration (zero inclusions, centering, maximum utilization of the cross-section)
- 6 Capability of being used in different geometries (caravan, saloon)
- 7 Resistance to aging
- 8 Shelf-life of at least 3 months

[Structural foam B-pillar upper]
[Expansion / temperature / reaction time]
Strukturschaum B-Stütze oben
Expansion / Temperatur / Reaktionszeit

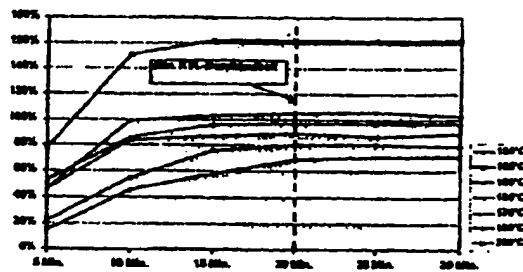


Fig.12: Expansion rates depending on temperature and process time

[Structural foam B-pillar upper]
[Expansion over time and temperature]
Strukturschaum B-Stütze oben
Expansion über Zeit und Temperatur

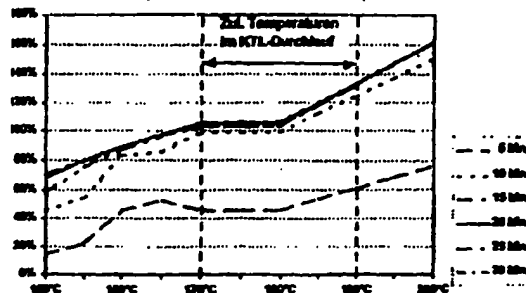


Fig.13: Expansion rates depending on temperature and process time

The two diagrams Fig. 12 and 13 show the link between expansion behaviour and temperature/reaction time.

In principle, the expansion rate of structural foam increases with increasing temperature and reaction time on the component.

When the reaction time is constant the expansion rates rise continuously over the entire temperature range shown here.

If the expansion rates are regarded as a function of the reaction time, then it is seen that the figures after periods between 15 and 25 minutes and with the temperature constant level out at different temperature-related limits. Longer periods lead to no further rise.

So that the full expansion of the structural foam is achieved and thus the strength requirements can be met with safe production it must be ensured that the body is exposed to the temperature in the electrophoretic primer oven for the minimum duration of the corresponding temperature range.

In this connection, Fig. 14 shows the minimum times, which are necessary to ensure the maximum expansion of the structural foam.

The temperature-time frame of the bodyshe'll passing through the electrophoretic primer oven is sufficiently distant from this limit curve.

When the component is fitted in the vehicle expansion rates of between 105% and 134% occur.

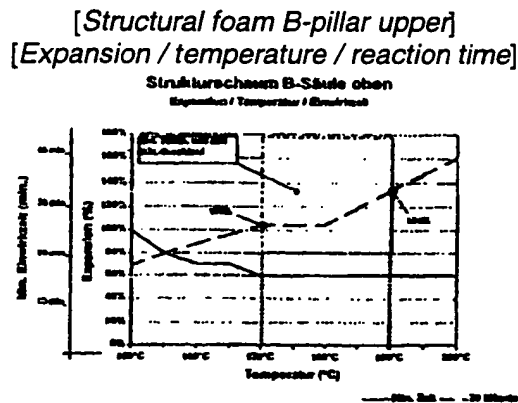


Fig.14: Dependence of min. process time and expansion rate from process temperature

The lower expansion rate of the structural foam of 105% enables the geometries of the roof frame cross sections which vary by up to 7 mm between saloon and caravan to be strengthened by a common component. Therefore it was possible to save substantial capital expense in the automatic production line for assembly of the side panel (see Fig. 15).

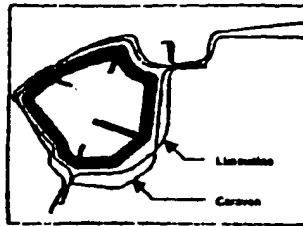


Fig.15: L-Section through roof frame side



Fig.16: Roof frame with structural foam

6. Practical trials and results

The practical side crash tests accompanying the development stages showed good correlation with the preceding simulation calculations.



Fig.17: Static roof deformations

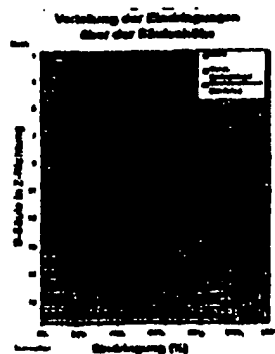


Fig.18: Static B-Pillar deformations

Fig. 17 and 18 show the influence of the reinforcement methods in the roof area on the static deformation of the B-pillar.

Out of the alternatives with conventional steel reinforcement the most favourable alternative, that is to say with closed roof arch profile is shown here. It can be seen that the static intrusions on top could be reduced by up to 40%. The best result by far, however, is obtained with the structural foam tube. In comparison to the starting point, static deformation in the upper B-pillar could be reduced here by more than 87%.

The reduced deformation trend of the B-pillar continued pendulum-wise downwards and even reached a 21% improvement in the vicinity of the upper ribs.

Near the door-sill, the differences are only marginal.

The deformation rates and thus the injury levels behave similarly to the static deformation.

Fig. 19 shows the improvements particularly in the vicinity of the upper ribs critical at the start. In this case penetration velocities could be reduced by 64% and the injury levels by 36%.

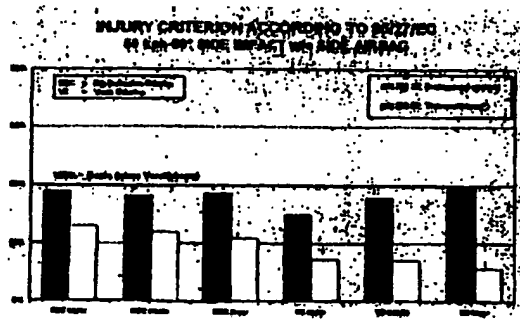


Fig.19: Rib deflection and visco criterion

7. Use in production

In particular, when using new concepts and materials for line production, specific preparatory steps accompanying the run-up phase have to be taken to safeguard the production process and the planned production quantities. Normally, today such action is planned and implemented through appropriate FMEAs.

The use of structural foam at four different production facilities turned out to be a peculiarity in this connection.

The Opel Astra is produced at the following car plants

- Eisenach,
- Antwerp,
- Ellesmere Port and
- Bochum

Naturally, not all the car plants have absolutely identical infrastructures. Historically developed infrastructures combined with different production volumes and other overall conditions mean a very wide spectrum of variable factors is involved for handling the reinforcement tubes in production. While the influences on production and product during handling in the different works could to a large extent be eliminated by the installation of new production and transport facilities, the different paint shops and ovens and thus different temperature conditions continued to remain for the new component.

Whatever the differences, which could be neglected during the previous processes, can lead to problems in handling a thermally activated structural foam.

7.1 Expansion of the structural foam

As already shown in Fig. 12-14, the single pack epoxy structural material expands under heat depending on temperature and time. The expansion rates under the given electrophoretic primer conditions vary between 105% and 134%.

This relatively wide range in expansion rate requires design provisions, which prevent the foam expanding into areas, which have to be kept free. In the case of the reinforcement tube, this involved the provision of appropriate cavities and holes with edge disconnection on the support tube. As a result, the expanding foam is prevented from penetrating into areas, which have to be kept free for functional reasons (e.g. holes for securing clips).

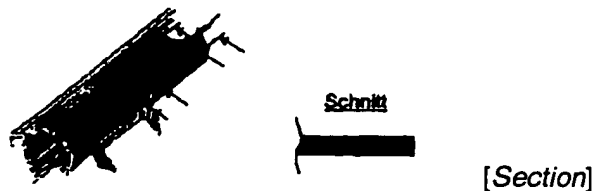


Fig.20: Design provisions to control expansion

7.2 Surface quality of the outer skin

Another problem, which had to be resolved after the initial painting trials in the production plants, was ensuring the surface quality of the outer skin in the vicinity of the structural foam tube.

After the test vehicles were painted, markings appeared in each case at the front and rear end of the reinforcement tube in the visible area of the side roof.

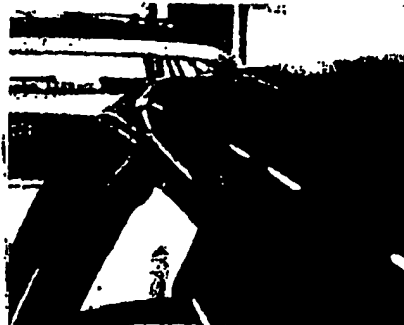


Fig.21: Sink marks in the side panel outer

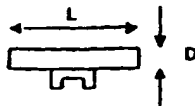
What as first thought could be regarded as a consequence of too strong expansion of the structural foam, turned out after more exact analysis too be a reaction of the side panel outer to the different thermal behaviour of the materials involved i.e. the PA, epoxy structural foam and steel. Here, forces come to lay over each other due to material shrinkage and different expansion rates.

7.2.1 Thermal reaction

a) Thermal expansion

While travelling through the electrophoretic primer oven the PA tube, the structural foam and the surrounding metal heat up to 190°C. Since the structural foam is relatively soft during the foam-setting process and only offers minimum resistance, the PA tube expands to a greater degree compared to the stable sheet metal on account of its higher heat expansion coefficients (see Fig. 23).

In regard to thermal expansion, the following applies:



$$\Delta L_{WD} = L_1 \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

ΔL_{WD} = Length difference (thermal expansion)
 L_1 = Initial length
 α = Thermal expansion coefficient
 ΔT = Temperature difference

In regard to the tube diameter the following applies similarly:

$$\begin{aligned} D &= U \cdot \pi^2 \\ \Delta D_{WD} &= \Delta U_{WD} \cdot \pi^2 \\ &= U_1 \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot \pi^2 \end{aligned} \quad \text{bzw.} \quad (2)$$

D = Tube diameter
 ΔD_{WD} = Diameter difference (thermal expansion)
 U = Tube circumference
 ΔU_{WD} = Circumference difference (thermal expansion)
 U_1 = Initial circumference

[Thermal expansion PA 6.6 / sheet metal]

Wärmedehnung PA 6.6 / Stahlblech			
	250	157	12
	250	157	40
	250	157	170
	250	157	170

* Mittelwert Längs und quer zur Faser

Fig.23: Temperature elongation Punjabi-tube vs. sheet metal

The reinforcement tube expanded to a greater degree compared to the sheet metal by 0.24 mm or 1.19 mm becomes bonded at the high temperature level in the electrophoretic primer oven to the surrounding side panel both inside and outside.

During cooling to ambient temperature the PA tube by bonding with the surrounding sheet metal structure is prevented from recovery of the thermal expansion and from material shrinkage. The reset forces of the PA tube and the structural foam are transmitted to the outer skin. While the changes in width act directly perpendicularly on the outer skin surface, the length variations create a kind of "bimetal effect". Both effects lead to visible markings on the outer skin. In this connection, Fig. 24 shows the material reaction times over the process temperature.

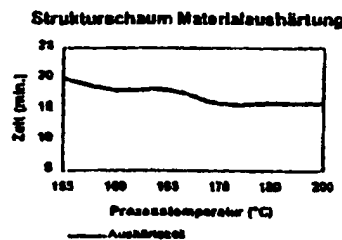


Fig.24: Structural foam curing depending on process temperature

b) Shrinkage (structural foam)

As is the case with all other plastic materials the structural foam also shrinks in the cooling stage after the foam has expanded and thus geometrical changes occur.

While in the case of injection-moulded plastic components this shrinkage can be influenced by process and material parameters such as temperature, dwell pressure and fillers, in the case of structural foam only the fillers act as correction factor.

Measurements of shrinkage on the finished component after passing through the electrophoretic primer oven proved extremely difficult, since it would have been necessary to separate the sheet metal outer skin from the expanded foam reinforcement tube to do this. The measurement results would therefore have been useless.

As a guide, therefore, shrinkage was estimated using freely expanded foam.

This is about 0.5%, so that absolute changes of

$$\Delta L_{ss} = 1.25 \text{ mm}$$

$$\Delta D_{ss} = 0.25 \text{ mm}$$

AL_{ss} = Length difference (shrinkage of structural foam)

AD_{ss} = Diameter difference (shrinkage of structural foam)

result.

c) Post shrinkage (PA support tube)

Plastic components can undergo geometrical changes under certain temperature conditions even after the actual production process due to shrinkage of the material. This is generally known as post shrinkage and can be controlled by tool design and process parameters.

Measurements of the PA support tube before and after passing through the electrophoretic primer oven gave the following results:

$$\Delta L_{spa} = 0.6 \text{ mm}$$

$$\Delta D_{spa} = 0.1 \text{ mm}$$

AL_{spa} = Length difference (shrinkage of PA tube)

AD_{spa} = Diameter difference (shrinkage of PA tube)

7.2.2 Remedies

Basically, material shrinkage and thermal expansion coefficients can be controlled to some extent by the filling agents in the materials. Furthermore, material shrinkage can also be influenced by process parameters during production (e.g. tool temperature, cycle time, dwell pressure) or by thermal post treatment of the components (tempering).

Based on the thermal movement of the components concerned shown in the above paragraph in this case relative movement between the plastic and metal of up to 3 mm in the longitudinal and 0.6 mm in the transverse direction have to be compensated, in order to prevent any surface defects on the visible outer skin.

Due to the already relatively high filler content in the PA tube (30% fibreglass) and in the structural foam (25 % glass bead) reductions in material shrinkage and thermal expansion are only possible with great difficulty in this order of magnitude.

The crucial improvement was finally achieved by local separation of the structural foam from the outer skin surface.

By applying a heat resistant separation cap on the outer skin side of the reinforcement tube, the foam is prevented from bonding with the outer skin of the bodyshell. The thermal reaction forces of the plastic components are therefore no longer transferred in this area to the outer skin. No further surface defects develop.

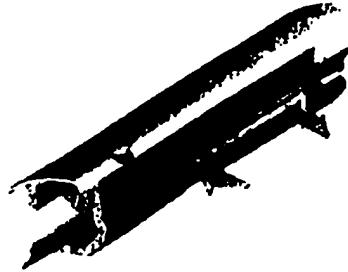
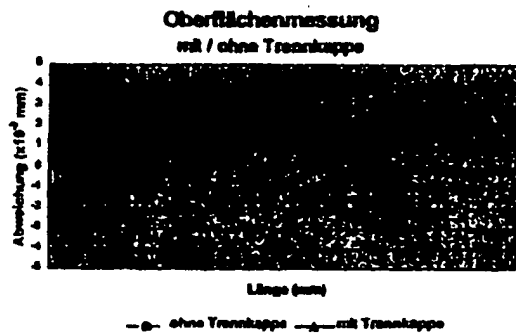


Fig.25: Reinforcement tube with separation cap

[Surface measurement]
[With/without separation cap]



[Deviation]

[Length]
[Without separation cap With separation cap]

Fig.26: Waves in upper surface with/without separation cap

Fig. 26 shows surface measurements in the area of the sink marks with and without separation cap. Surface defects are reliably eliminated with the separation cap. The remaining irregularity of the measured values are to do with the measuring and manufacturing tolerances and lies outside the range perceptible to the human eye.

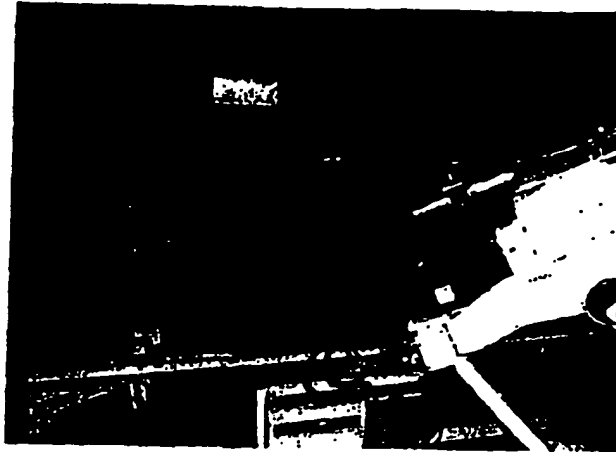


Fig.27: Automatic assembly station side panel complete

Literature

/1/ Dubbel, Mechanical Engineering pocket book
Vol. 1, Springer Verlag 1997

Construction of a Crashbox, Taking Particular Account of Performance, Where Impact is Not Head-On, but at an Angle

Dipl. Ing(BA) L. Jüngling, M. J. Beck, Dipl. Ing. (FFI) R. Schüßler, WAGON Automotive GmbH, Waldaschaff

Summary

In modern automotive production, the design of the vehicle body plays an ever greater role in regard to controlled deformation behaviour and ease of repair. The damage arising, in particular at the front and tail of the vehicle, which is determined in the so-called crash repair test, is observed. These findings are to a considerable degree responsible for classifying the type classes for 3rd party as well as comprehensive car insurance.

In this case, the "bumper stretcher crashbox" system plays a major role in the front area.

Based on actual road traffic accidents in particular the crashbox is observed not only under the 0° crash test configuration, but up to an angle of 15°. With higher crash angles an evaluation of the force or stress distribution between the stretcher and crashbox must be carried out, since the engine longerons collapse above a certain force, which must be prevented in order to prevent costly repairs.

The new crashbox geometry (Defo element) shows how through deliberate optimization of the shape a universal, single-material component can meet the higher requirements for energy absorption concerning diagonal impact.

Know-how vom Erstausrüster

GURIT-ESSEX



**In aller Bescheidenheit:
Acht von zehn Automobilen
fahren mit Gurit-Essex**

*Denn in fast jedem Fahrzeug versteckt
sich eine der innovativen System-
lösungen von Gurit-Essex. Als Markt-
führer auf den Gebieten Kleben,
Dämmen und Dichten sind wir seit
Jahrzehnten Partner der Automob-
hersteller, der Zulieferindustrie, der
Fachwerkstätten und des Handels.*

*Gemeinsam stehen Gurit-Essex und
Essex Specialty Products Inc. für
weltweite Präsenz und Kompetenz.*

**KLEBEN
DÄMMEN**

Gurit-Essex (Deutschland) GmbH
Am Güterbahnhof · D-35683 Dillenburg
Tel: 027 71/87 14-0 Fax: 027 71/87 14-70

Firmenportrai

Gurit-Essex (Deutschland) GmbH
Am Güterbahnhof
D-35683 Dillenburg
Tel.: 0 27 71/87 14-0
Fax: 0 27 71/87 14-70

Firmenprofil/Liefer-/Leistungsverzeichnis:
Gurit-Essex: Pionier und Trendsetter bei Klebstoffen seit über
25 Jahren

Der Marktführer im Profil

- Die Gurit-Essex AG wurde 1970 als selbständiges Joint-Venture-Unternehmen gegründet. Je 50% Beteiligung hatten die international tätige Gurit Heberlein Gruppe sowie die seit 1989 zur Dow Chemical gehörende Essex Specialty Products Inc. (USA). Der Hauptsitz der Firma mit 400 Beschäftigten liegt in Freienbach nahe Zürich (Schweiz).
- In die Gurit-Essex integriert sind zahlreiche spezialisierte Hightech-Betriebe. Heute verfügt die Firma in 5 weiteren Ländern Europas - Deutschland, England, Frankreich, Italien und Spanien - über eigene Entwicklungs- und Produktionsstätten beziehungsweise Vertriebsorganisationen. Die Essex Specialty Products betreut die Märkte Nord- u Südamerika, Asien und Australien.
- Als Anbieter hochwertiger Werkstoffe und Systemlösung für die Direktverglasung im Automobilbau liefern Gurit-Essex und Essex Specialty Products 70-75% des weltweiten Bedarfs für Erstausrüstung und Reparaturen. In Europa hält Gurit-Essex mit fast 80% Marktanteil die führende Stellung im Bereich der Scheibenverklebung.
- Die Gurit-Essex stellt außerdem vielerlei Produkte für den Rohbau, die Lackiererei, die Endmontage sowie für den Reparatur- und Ersatzteilmarkt her. Unter anderem ist sie nach dem Erwerb von Revco (1992) und Sahn-Chemie (1995) auch zu Europas Marktführer im PVC-Unterbodenschutz geworden.
- Langjährige Kunden der Gurit-Essex in Europa sind praktisch alle bedeutenden Konzerne der Fahrzeugindustrie wie Audi, BMW (Rover), Fiat (Alfa Romeo, Lancia), Ford, Jaguar, Mercedes Benz, Opel, Porsche, PSA (Peugeot)

Know-how from the OEM supplier

Without boasting: Eight out of ten cars drive with Gurit Essex

Because in nearly every vehicle one of the innovative product systems from Gurit Essex is concealed. As market leader in the field of adhesives, insulating and sealing materials we have for many decades been partners of car manufacturers, OEM supply industry, specialist workshops and trade.

Gurit Essex and Essex Specialty Products Inc. together represent global presence and competence.

Gurit Essex (Deutschland) GmbH
Am Güterbahnhof
D - 35683 Dillenburg
Tel.: 0 27 71/87 14 - 0
Fax: 0 27 71/87 14 - 70

Firm profile/products and services:
Gurit Essex: pioneers and trendsetters in the adhesive industry for over 25 years

The market leader in brief

Gurit Essex AG was created in 1970 as an independent joint venture 50% of which being held by the international Gurit Heberlein Group and 50% by Essex Specialty Products Inc. (USA), since 1989 part of Dow Chemical. The head office of the company employing 400 people is based in Freienbach near Zurich (Switzerland).

Various specialist high-tech companies are integrated in Gurit Essex. Today, the company has its own development and manufacturing plants and/or distributing organizations in 5 other European countries - Germany, England, France, Italy and Spain. Essex Specialty Products takes care of the North and South America, Asia and Australia markets.

As suppliers of high-quality materials and product systems for direct glazing in automotive production, Gurit Essex and Essex Specialty Products supply 70-75% of the worldwide requirement for the automotive OEM and aftermarkets. In Europe, Gurit Essex with a market share of nearly 80% is No. 1 in the windscreen bonding field.

In addition, Gurit Essex supplies many different products for bodyshell construction, the paint shop, final assembly as well as for the repair and aftermarket. Among other things, it has also become after acquiring Revco

(1992) and Schm Chemie (1995) European market leader for PVC underbody protection.

Longstanding customers of Gurit Essex in Europe are practically all the major automotive companies such as Audi, BMW (Rover), Fiat (Alfa Romeo, Lancia), Ford, Jaguar, Mercedes Benz, Opel, Porsche, PSA (Peugeot)